

Traktorhydraulik

Lennart Roos, Johannes Untch,
Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Technische Universität Braunschweig

Kurzfassung

Auf dem Gebiet der Traktorhydraulik stellen vor allem die Steigerung der Effizienz sowie die Verbesserung des Arbeitsergebnisses wesentliche Forschungs- und Entwicklungsziele dar. Darüber hinaus werden eine Verbesserung der Bedienbarkeit von Systemen, beispielsweise durch unterstützende Regelungen, aber auch die Erhöhung des Komforts für Bediener und Umwelt angestrebt. Ebenso nimmt die Integration von Informationstechnik in Komponenten weiter zu.

Schlüsselwörter

Arbeitshydraulik, Fahrhydraulik, Hubwerkshydraulik, Multikuppler, Frontlader, Power Beyond

Tractor Hydraulics

Lennart Roos, Johannes Untch,
Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles, Technische Universität Braunschweig

Abstract

In the field of tractor hydraulics the main driving forces for research and development are the enhancement of performance and efficiency as well as the work quality. Furthermore, the improvement of operability, i.e. by supporting control systems, and the enhancement of comfort for the user and the environment are pursued. Moreover the integration of information engineering in hydraulic components is increasing continuously.

Keywords

Working hydraulics, driving hydraulics, hitch hydraulics, multi-coupling, front loader, power beyond

Einleitung

Die deutsche Fluidtechnik hat das Krisenjahr 2009 gut überstanden und erholt sich weiter. Laut dem Fachverband Fluidtechnik des VMDA konnte nach einem Rückgang von 40 % (2009) bereits 2010 eine Steigerung um 36 % und ein Umsatz von 5,5 Mrd. Euro erreicht werden, wovon der Anteil der Hydraulik 3,8 Mrd. Euro beträgt [1].

Für die Fluidtechnik zeigt die reale Veränderung vom Januar bis April 2012 zum Vorjahr ein Wachstum von 10 %, während es 2011 zu 2010 noch 25 % waren. In der gleichen Größenordnung verlangsamten sich die Entwicklungen in der Landtechnik. Das Umsatzniveau von 2011 hat das des Jahres 2008 nahezu wieder erreicht [2].

Die Landtechnikbranche ist mit 13,9 % der zweitgrößte Abnehmer hydraulischer Komponenten- und Systemlösungen mit leicht steigender Tendenz. Sie greift auf hydraulische Technologien zurück, welche sich durch Robustheit, Leistungsdichte, Langlebigkeit und zunehmend durch Effizienz auszeichnen [3].

Maßgebende Tagungen und Konferenzen im Berichtszeitraum waren das 8. internationale fluidtechnische Kolloquium in Dresden, die 12. skandinavische Fluidtechnik-Konferenz in Tampere, die 69. LAND.technik AgEng in Hannover sowie das 6. Kolloquium Mobilhydraulik in Braunschweig.

Arbeitshydraulik

Derzeit befinden sich hauptsächlich Konstantstrom- und Load-Sensing-Systeme mit Verstellpumpe im Markt; seltener finden sich LS-Systeme mit Konstantpumpe, vereinzelt nur Konstantdrucksysteme. Wie aus Bild 1 zu entnehmen ist, haben sich im unteren Leistungssegment bis auf wenige Ausnahmen aufgrund ihres einfachen, robusten Aufbaus Konstantstromsysteme durchgesetzt. Oberhalb einer hydraulischen Eckleistung von 35 kW oder einem Volumenstrom von ca. 100 l/min werden die KS-Systeme von den LS-Systemen abgelöst. Ebenfalls zu erkennen ist, dass der maximale Systemdruck nach wie vor bei etwa 200 bar liegt; Ausnahmen finden sich im Leistungsbereich unter 40 kW. Bei den LS-Systemen ist der systembedingte Druckabfall von etwa 15 bis 30 bar über den Stromreglern zu berücksichtigen [4 bis 5].

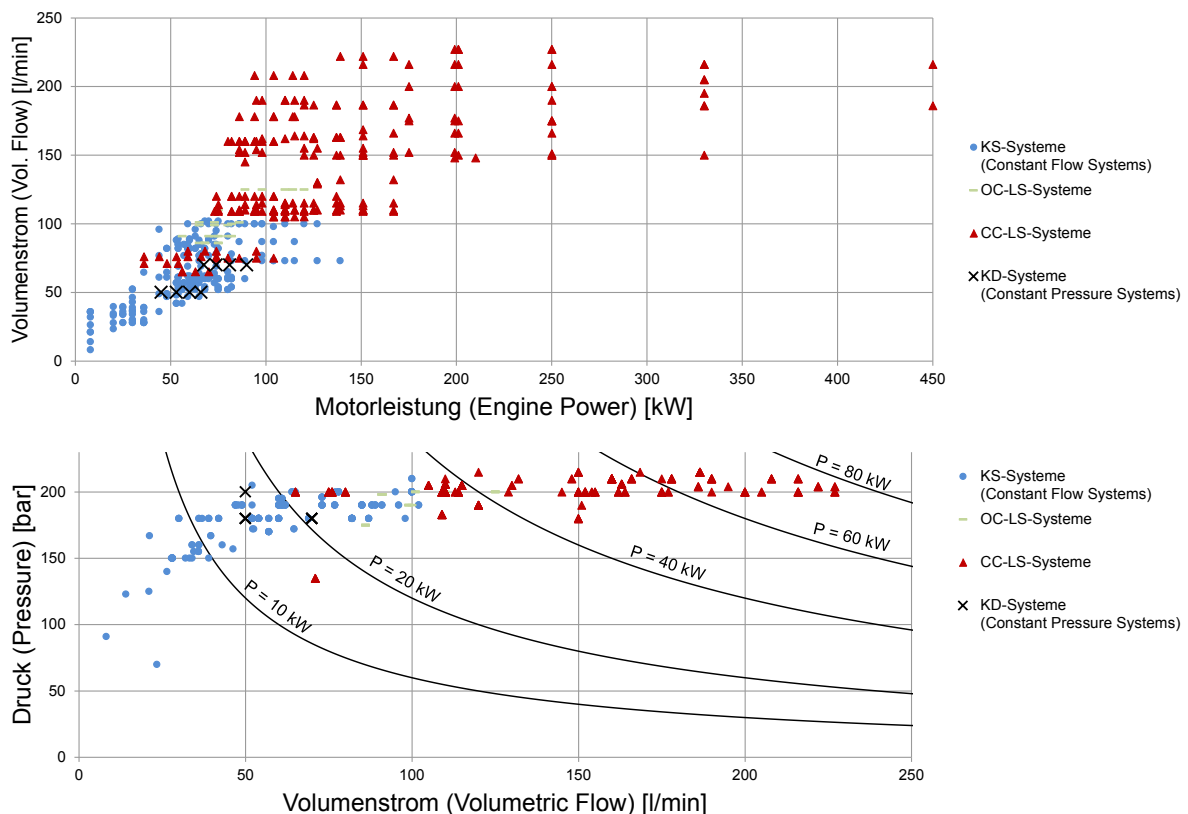


Bild 1: Volumenstrom über Motorleistung (oben), Druck über Volumenstrom (unten) für versch. Traktorhydrauliksysteme, nach [4]

Figure 1: Volumetric Flow vs. Engine Power (above), Pressure vs. Volumetric Flow (below), for different tractor hydraulic systems, according to [4]

Weiterhin steht die Steigerung der Energieeffizienz in Arbeitshydrauliksystemen im Vordergrund, wie etwa bei den Arbeiten von Dengler. Untersucht wird ein Konstantdrucksystem, das über zwei Druckniveaus verfügt, um bei Teillast die systembedingten Drosselverluste zu minimieren. Da der effiziente Betrieb rotatorischer Verbraucher am Konstantdrucknetz ausreichend beschrieben wurde, konzentrieren sich die Untersuchungen auf Schaltungen mit Differentialzylindern. Je nach Belastungszustand wird entweder die Kolben- oder die Ringkammer mit Tank-, Zwischen- oder Hochdruck beaufschlagt. Auf diese Weise können verschiedene Druckdifferenzen über den Zylindern eingestellt und der Drucküberschuss verringert werden [6].

Zur Dynamik- und Effizienzsteigerung von Load-Sensing Systemen schlägt Grösbrink ein System mit adaptiver Pumpenregelung vor. Die Kombination einer Bedarfsstromsteuerung mit einer überlagerten LS- Δp -Regelung greift auf einen konventionellen hydraulisch-mechanischen-Förderstromregler sowie eine elektroproportionale Verstellung mit adaptiven Verhalten zurück. In theoretischen und experimentellen Untersuchungen konnte ein kontrollierter, schlagfreier Reglerwechsel auch bei dynamischen Betriebspunktänderungen nachgewiesen werden. Das System arbeitet mit einer variablen, möglichst geringen

Regeldruckdifferenz. Zudem zeigt das System gegenüber dem mechanisch-hydraulischem LS eine deutlich verbesserte Dämpfung bzw. kürzere Einschwingzeiten [7].

Bei Traktoren ab 100 kW findet sich zusätzlich zu den traktorseitig installierten Ventilscheiben eine sog. „Power Beyond“-Schnittstelle, welche die Einbindung von gezogenen Arbeitsgeräten mit eigenen (speziellen) Ventilblöcken ermöglicht. Dies bietet den Vorteil, die Ventilcharakteristika gezielt auf die geforderten Funktionen abzustimmen und Synergieeffekte etwa durch Mehrfachnutzung gleicher Komponenten zu erzielen. Die Gerätehydraulik wird vermehrt als Mehrverbraucher-LS-System ausgeführt, das auch in Kombination mit Konstantpumpen funktionsfähig sein muss. Daher werden Eingangssegmente mit Eingangsdruckwaagen eingesetzt, die bei Verwendung von KS-Systemen das LS-Signal für die Druckwaage nutzen, um überschüssigen Volumenstrom zum Tank abzuführen. Bei Verwendung einer LS-Regelpumpe wird die Eingangsdruckwaage blockiert und das LS-Signal dem Traktor übergeben. Dabei ist oftmals die LS-Signalüberhöhung möglich, um Druckverluste über Kupplungen, Schlauchleitungen o. ä. auszugleichen und somit den maximalen Volumenstrom am Gerät zu ermöglichen [5;8].

An der Schnittstelle zwischen Traktor und Gerät zeigt sich ein Trend zum kombinierten Kuppeln mehrerer hydraulischer Anschlüsse in Form sog. Multikuppler. Dabei werden im Wesentlichen zwei Ziele verfolgt: Einerseits soll ein Vertauschen von Hydraulikanschlüssen verhindert werden, was zu Schäden am Anbaugerät führen kann. Dies ist besonders bei automatisierten Prozessen von Bedeutung, wie bspw. beim Vorgewendemanagement. Andererseits sollen höhere Durchflussmengen ermöglicht werden. Der Claas-Multikuppler (Bild 2) ersetzt die Standard-Schnellkuppler durch eine traktor- und eine geräteseitige Anschlussplatte. Am Traktor befindet sich ein mit flachdichtenden Kupplern ausgestatteter Block, welcher direkt mit den Steuerscheiben verbaut ist. Die Gegenstücke der Flachkuppler befinden sich geräteseitig in einer Platte, mit der die zu kuppelnden Hydraulikschläuche fest verschraubt sind. Die Verwendung von flachdichtenden Kupplern ermöglicht gegenüber den Standard-Schnellkupplern eine höhere Durchflussmenge und/oder einen geringeren Druckabfall über die Schnittstelle [9].



Bild 2: Claas Multikuppler am Traktorheck [CLAAS]

Figure 2: Claas Multikuppler mounted at a tractor's rear end [CLAAS]

Es ist ein Trend zum Einsatz von Load-Sensing-Systemen auch bei kleineren Leistungen zu beobachten. Beispielsweise hat Bosch Rexroth für Traktoren mit Leistungen bis 90 PS die neue LS-Axialkolbenpumpe A1VO vorgestellt. In einer Simulation wurde für einen Zyklus eines Traktorherstellers ein Einsparpotential von 10-15 % gegenüber einem Konstantstromsystem, das in diesem Leistungssegment eine Alternative darstellt, ermittelt [10]. Linde stellte die neue elektrisch angesteuerte Mitteldruckpumpe MPR50 vor. In Verbindung mit einer elektrischen Verbrennungsmotorsteuerung kann so ein kennfeldoptimierter Betrieb der Maschine realisiert werden. Gegenüber Load-Sensing-Pumpen werden außerdem Raumbedarfvorteile angegeben [11]. Eine weitere Erhöhung der Maschineneffizienz bietet sich durch eine Ausweitung des Betriebsbereiches der Komponenten. In diesem Zusammenhang erlaubt Linde unter der Überschrift p+ den Nutzern seiner Pumpen der Baureihe 02, statt des Betriebsdruckes von 420 bar mit bis zu 500 bar zu arbeiten, falls bestimmte Betriebsbedingungen eingehalten werden [12].

Zahlreiche Forschungsarbeiten sind zum Thema der Geräusche in der Hydraulik in den letzten Jahren entstanden. Grundlegende Forschungsansätze zur Ermittlung und Beeinflussung der Geräuschentwicklung finden sich unter anderem bei Hartmann [13], Seeniraj [14] und Klop [15]. Zur Reduzierung der Geräuschpegel in kritischen Frequenzbereichen wird für Alu-Druckguss-Pumpenträger ein Nachrüst-Bausatz angeboten [16]. Auf dem IFK 2012 wurde mit der Silence-Plus-Pumpe eine geräuschoptimierte Außenzahnradpumpe vorgestellt. Die Geräuschreduzierung wird unter anderem durch eine Schrägverzahnung in Kombination mit einem speziellen Zahnprofil erreicht [17].

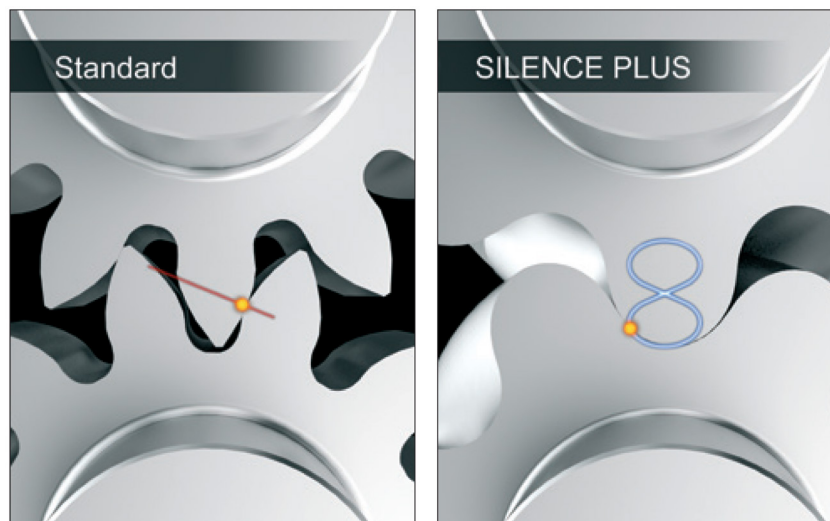


Bild 3: Zahngeometrie einer herkömmlichen Pumpe (links) und der Silence-Plus-Pumpe (rechts)
[Bosch Rexroth]

Figure 3: Tooth design of a conventional pump (left) and of Silence-Plus pump (right) [Bosch Rexroth]

Fahrhydraulik

Hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigte Getriebe sind mittlerweile seit fast 20 Jahren in Traktoren im Einsatz. Entwicklungen in Richtung höherer Effizienz des hydrostatischen

Leistungspfades und auf den Einsatzfall zugeschnittene Getriebestrukturen tragen zur Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades und der Funktionalität des Getriebes bei.

Auf der Landtechniktagung 2011 stellte Meija die Kompakteinheit A41CT für den Einsatz in leistungsverzweigten Getrieben vor, in der das Schrägscheiben- mit dem Schrägachsenprinzip kombiniert wird. Effizienzvorteile entstehen dadurch, dass Schrägachsenmaschinen wegen der großen Schwenkwinkel und der Vermeidung von Querkraftbelastung der Kolben bauartbedingt gute hydraulisch-mechanische Wirkungsgrade erreichen. Außerdem ermöglichen Schrägachsenmaschinen höhere Betriebsdrehzahlen, sodass für gleiche Leistungen kleinere Baugrößen verwendet werden können. Als Sekundäreffekt sinkt der Kühlbedarf, was die Verlustleistung weiter reduziert [18]. Die Kompakteinheit kommt unter anderem im neu entwickelten Leistungsverzweigungsgetriebe von New Holland zum Einsatz [19].

Für heterogene Anforderungen wie Stufenlosigkeit in niedrigen Geschwindigkeiten und hohe Effizienz bei schnellen Transportfahrten wurde am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge das Konzept eines teilstufenlosen hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigten Getriebes entwickelt (Bild 4). Über eine getriebeinterne Rückführung der Drehgeschwindigkeit im mechanischen Teil wird erreicht, dass die Pumpendrehzahl und damit der hydrostatische Leistungsanteil und hydraulische Schleppverluste in höheren Fahrstufen sinken und in der höchsten Fahrstufe Null werden, was zu hohen Wirkungsgraden bei Transportfahrten führt [20].

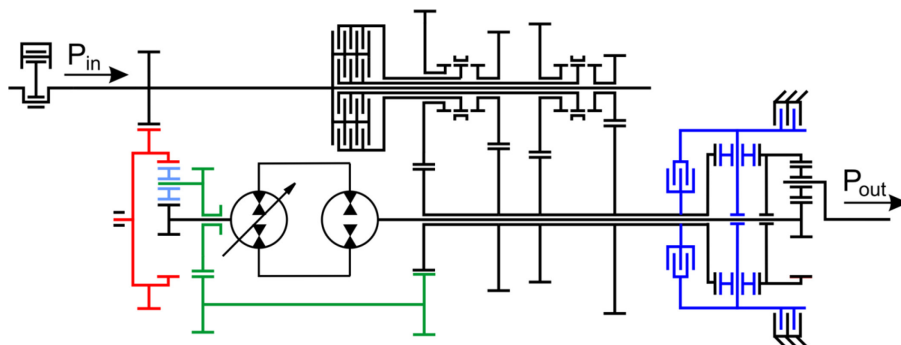


Bild 4: Struktur des teilstufenlosen leistungsverzweigten Getriebes [20]

Figure 4: Schematic of the partially continuously variable transmission [20]

Im Vergleich zu mechanischen Kupplungen weisen Hydrostaten relativ hohe Stellzeiten auf, sodass das Durchschwenken der Hydraulikpumpe bei Fahrbereichswechseln unerwünscht ist. Durch Verwendung eines Doppelplanetengetriebes innerhalb des leistungsverzweigten Getriebes kann dieses Problem umgangen werden. Die Pumpe muss dann nicht mehr durch- sondern im folgenden Fahrbereich für eine weitere Geschwindigkeitssteigerung nur in umgekehrte Richtung verschwenkt werden. Ein Beispiel für die Ausnutzung dieses Prinzips findet sich im Konzept des hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigten Getriebes VTP beim Wechsel vom rein hydrostatischen (niedrige Geschwindigkeit) zum hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigten Betrieb (höhere Geschwindigkeit) [21].

Auf dem IFK 2012 wurden Untersuchungen zu einem hydrostatischen Getriebe mit entleertem Gehäuse des Schrägachsenmotors (Dry Case) vorgestellt. Im Gegensatz zu existierenden Lösungen wird das Gehäuse durch Schwerkraft entleert. Der Hydrauliktank soll Teil des Motorgehäuses werden. Durch das nicht ölgefüllte Gehäuse werden Planschverluste weitgehend vermieden, was sich besonders bei hohen Drehzahlen auswirkt. Eine Maschine, deren maximaler Leistungsbedarf bei höchster Geschwindigkeit auftritt, kann dann mit kleinerer Verbrennungskraftmaschine ausgestattet werden oder höhere Geschwindigkeiten erreichen [22].

Assistenz- und Regelsysteme

Zur Verbesserung des Zeitverhaltens eines LS-Hubwerkregelventils mit Eingangsdruckwaage wurden von Anthony Dynamikuntersuchungen durchgeführt. Ziel war es, kritische Betriebszustände zu identifizieren und Vorschläge zu deren Vermeidung zu erarbeiten, wobei der Grundaufbau des Ventils unverändert bleiben sollte. Es wurde ein nichtlineares Modell des Stromregelventils entwickelt und anhand von Experimenten verifiziert. Analysen im Zeit und Frequenzbereich ergeben, dass neben stark oszillierenden Betriebspunkten auch instabile Zustände auftreten können, die durch gezielte Dimensionierung der Drosselquerschnitte an den Ventilschiebern stabilisiert werden können [23].

In einem Gemeinschaftsprojekt der Universität Hohenheim zusammen mit der Bosch Rexroth AG wurde die doppelt wirkende elektrohydraulische Hubwerksregelung auf ihre Potentiale für die Bodenbearbeitung untersucht. Der Fokus der Arbeiten lag auf den Unterschieden zwischen der einfach und der doppelt wirkenden EHR bezüglich des Einzugsverhaltens und der Tiefenregelung bei inhomogenen Bodenverhältnissen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Arbeitstiefe bei der EHR-dw für einen Grubber und eine Kurzscheibenegge beim Einzug nach einer kürzeren Wegstrecke erreicht werden können als beim einfach wirkenden System. Bei der Bearbeitung inhomogenen Bodens zeigte sich, dass die EHR-dw schneller in die Tiefe regelt, dass die EHR-ew jedoch schneller in entgegen gesetzte Richtung regelt [24].

Um den Fahrer bei Frontladerarbeiten zu entlasten, haben John Deere und Fendt Assistenzsysteme entwickelt, die automatisiert festgelegte Arbeitspositionen anfahren können, über integrierte Wiegeeinrichtungen sowie über eine Arbeitsraumbegrenzung verfügen. Mit Hilfe von Sensoren an Schwinge und Werkzeugzylinder kann die exakte Ausrichtung der Frontladerkinematik berechnet werden. Mit dieser Information lassen sich feste Positionen des Frontladers speichern und reproduzierbar anfahren. Die Wiegeeinrichtungen ermitteln die Masse der einzelnen Schaufelladungen wie auch die Gesamt- und Zielmassen, welche kontrolliert und dokumentiert werden. Dafür wird die Traktorneigung sensorisch erfasst und mit den Daten über die aktuelle Frontladerposition und den Drücken in den Schwingen- und Werkzeugzylindern fusioniert. Daraus lässt sich die Gewichtskraft in der Schaufel ableiten. Durch eine exakte Parallelführung der Laderwerkzeuge während des Hubvorgangs, wird der Fahrer von etwaigen Korrekturarbeiten entlastet [9].

Bei Traktorlenkungen handelt es sich überwiegend um mechanisch-hydraulische Systeme mit Fremdkraftunterstützung durch die Traktorhydraulik. Bei Ausfall der hydraulischen Leistungsversorgung ist die Lenkbarkeit durch ein Orbitrol gegeben. Im Gegensatz dazu werden weiterhin Steer-by-Wire-Konzepte vorgestellt, die eine Trennung der mechanisch-hydraulischen Verbindung der Lenkachsen vom Lenkrad vorsehen, wodurch beliebige Lenkstrategien umgesetzt werden können. Möglich sind fahrsituationsbezogene Übersetzungsänderungen sowie die einfachere Integration in autonome Fahrkonzepte. Die Primärversorgung erfolgt via Proportional-Wegeventile vom Traktorhydrauliksystem. Das Sicherheitskonzept umfasst die obligatorische Notversorgung bei Ausfall der Versorgung mittels einer radgetriebenen Pumpe oder Speichereinheit, welche zyklisch über eine Ladeschaltung versorgt wird. Zusätzlich werden permanent die Stellsignale des Lenkrades, die Ventilbestromung und die Zylinderauslenkung miteinander kontrolliert [9].

Druckflüssigkeiten

Hydraulikfluide tragen entscheidend unter anderem zur Dynamik und Präzision, zur Energieeffizienz hydraulischer Systeme bei und beeinflussen deren Umweltverträglichkeit. Einen wesentlichen Einfluss auf die Systemdynamik haben Kompressibilität, Dichte und Viskosität des Öls. Durch Haas und Karjalainen wurden Arbeiten zur Ermittlung dieser Eigenschaften von Hydraulikölen vorgestellt [25 bis 26]. Wegen der Temperaturabhängigkeit der Ölviskosität und damit beispielsweise der Druckverluste an Drosselstellen ist es bei Simulationen hydraulischer Systeme auch von Interesse, die Wärmeentstehung und Wärmeleitung innerhalb des Systems zu berücksichtigen. Zu diesem Zwecke wurden am IFAS der RWTH Aachen thermo-hydraulische massenkonservative Simulationen durchgeführt, bei denen von der sonst üblichen Betrachtung von Volumenströmen auf Massenströme übergegangen wurde [27]. Für die dabei nötige Berücksichtigung der Dichte ist die Kenntnis von Dichte-Temperatur und Dichte-Druck Relationen von entscheidender Bedeutung.

Zusammenfassung

Drei wesentliche Trends können zusammenfassend herausgestellt werden. Zum einen wird versucht, den Durchsatz und die Arbeitsqualität der Maschinen zu erhöhen. Dies geschieht beispielsweise durch höhere Volumenströme an der Arbeitshydraulik von Traktoren, die Steigerung der Leistungsdichte von Komponenten, die Erweiterungen der elektrohydraulischen Hubwerksverstellung oder die bessere Abstimmung zwischen Traktor und Arbeitsgerät. Eng mit der Leistungssteigerung verknüpft ist der zweite Trend, das Streben nach höherer Energieeffizienz. Beispiele dafür sind die weitere Verbreitung von LS-Systemen in geringere Leistungsklassen oder die Minimierung des Druckabfalls über Schnellkuppler. Ebenso trägt die Reduzierung von Planschverlusten zu effizienteren Hydrostaten bei. Die Innovationen auf dem Gebiet der Geräuschemissionen und der geräuscharmen Hydraulik können dem dritten Trend, der Steigerung des Komforts von Maschinen, zugerechnet werden. Zur Fahrerentlastung wurden bspw. für Frontladerarbeiten diverse Assistenzsysteme vorgestellt.

Literatur

- [1] Rauen, H.: Zukunftsstarke Fluidtechnik. O+P Konstruktions-Jahrbuch 2011/12 36 (2011), S. 6-10.
- [2] Wiechers, R.: Im Übergang. In: Mitgliederversammlung Forschungsfonds Fluidtechnik 21.06.2012 Frankfurt/Main.
- [3] Graf, F.: Landtechnik auf der Sonnenseite. Fluid Markt Jahreseinkaufsführer 2012 (2011), S. 58-63
- [4] -, -: Traktoren 2011/2012. dlz agrarmagazin Traktoren 2012 (2012), S. 44-115.
- [5] Fedde, T.: Hydrauliksteuerungen auf gezogenen Geräten. Mobile Maschinen 4 (2011) H. 3, S. 22-24.
- [6] Dengler, P.: Zwischen den Drücken lesen. O+P 55 (2011) H. 1-2, S. 24-27.
- [7] Grösbrink, B.: Load-Sensing System mit adaptiver Pumpenregelung. Aachen: Shaker Verlag 2011.
- [8] Göhler, O-C: Für gezogene Arbeitsmaschinen und Anbaugeräte. Fluid (2010) H. 1-2, S. 34-35.
- [9] Hartmann, K., Jünemann, D., Kemper, S., Robert, M., Roos, L., Schattenberg, J. und Untch, J.: Trends bei Landmaschinen und Traktoren – Beobachtungen anlässlich der Agritechnica 2011. O+P 56 (2012) H. 1-2, S. 33-37.
- [10] Maier, J.: New Variable Pump for Economical Load-Sensing in Small Tractors. VDI-MEG Tagung Landtechnik 11./12.11.2011 Hannover. In: VDI-Berichte 2124, S. 401-408. Düsseldorf: VDI-Verlag 2011.
- [11] Welschof, B.: Ressourcenschonende Energieeffizienz – Elektronik und Hydraulik – ein starkes Team. O+P 55 (2011) H. 5, S. 192-195.
- [12] -, -: Druckerhöhung erlaubt mehr Fahrleistung und Downsizing von Antrieben. O+P Report 2011/2012 (2011), S. 16.
- [13] Hartmann K., Harms, H.-H. und Lang, T.: A Model-Based Approach to Optimize the Noise Harmonics of Internal Gear Pumps by Reducing the Pressure Pulsation. In: 8th International Fluid Power Conference Dresden “Fluid Power Drives”, Dresdner Verein zur Förderung der Fluidtechnik e.V. Dresden Vol. 1, Dresden 2012, S. 95-106.
- [14] Seeniraj, G. K. und Ivantysynova, M.: A Multi-Parameter Multi-Objective Approach to Reduce Pump-Noise Generation. International Journal of Fluid Power 12 (2011) H.1, S. 7-17.
- [15] Klop, R. und Ivantysynova, M.: Investigation of Noise Sources on a Series Hybrid Transmission. International Journal of Fluid Power 12 (2011) H.3, S. 17-30.
- [16] -, -: NRS – Noise Reduction System. O+P 55 (2011) H. 10, S. 392-393.
- [17] Lätzel, M. und Schwuchow, D.: An innovative external gear pump for low noise applications. In: 8th International Fluid Power Conference Dresden “Fluid Power Drives”, Dresdner Verein zur Förderung der Fluidtechnik e.V. Dresden Vol. 3, Dresden 2012, S. 357-371.

- [18] Meja, F. und Jachnick, M.: First Hydrostatic Compact Unit Combining Swash-Plate and Bent-Axis Design for Higher Efficiency and Reduced Size. VDI-MEG Tagung Landtechnik 11./12.11.2011 Hannover. In: VDI-Berichte 2124, S. 393-399. Düsseldorf: VDI-Verlag 2011.
- [19] -, -: Ausgezeichnet arbeiten - Hydrostatische Kompakteinheit für preisgekröntes Traktorgetriebe. Mobile Maschinen 4 (2011) H. 4, S. 22-28.
- [20] Fleczonek, T., Kemper, S., Untch, J. und Frerichs, L.: Effizienz durch Teilstufenlosigkeit – Idee für ein Radladergetriebekonzept. Mobile Maschinen 5 (2012) H. 2, S. 26-28.
- [21] Aitzetmüller, H.: Hydrostatisch-mechanisches Leistungsverzweigungsgetriebe VTP. VDI-MEG Tagung Landtechnik 27./28.10.2010 Braunschweig. In: VDI-Berichte 2111, S. 385-390. Düsseldorf: VDI-Verlag 2010.
- [22] Rahmfeld, R., Marsch, S., Göllner, W., Lang, T., Dopichay, T., Untch, J.: Efficiency Potential of Dry Case Operation for Bent-Axis Motors. In: 8th International Fluid Power Conference Dresden "Fluid Power Drives", Dresdner Verein zur Förderung der Fluidtechnik e.V. Dresden Vol. 2, Dresden 2012, S. 73-86.
- [23] Anthony, A., Casoli, P., Vacca, A.: Analysis of a tractor rear hitch control system. In: 6th FPNI – PhD Symposium West Lafayette (2010) Vol. 2, S. 589-602.
- [24] Weisbrodt, J., Köller, K.-H.: Vergleich von doppelt und einfach wirkender EHR in der Bodenbearbeitung. LANDTECHNIK (2010) H. 5, S. 364-367
- [25] Haas, R., Manhartgruber, B.: Compressibility Measurements of hydraulic fluids in the low pressure range. In: 6th FPNI – PhD Symposium West Lafayette (2010) Vol. 2, S. 681-690.
- [26] Karjalainen, J.-P., Karjalainen, R., Huhtala, K., Vilenius, M.: Comparison of measured and predicted dynamic properties of different commercial hydraulic fluids. In: Proceedings of the 12th Scandinavian International Conference on Fluid Power, Tampere, Finland, 2011. file: cr1009.pdf.
- [27] Riedel, Ch., Siebert, Ch., von Grabe, Ch., Stammen, Ch., Murrenhoff, H.: Optimierung der Systemsimulation durch Massenströme. O+P 55 (2011) H. 5, S. 202-207.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 17.09.2012

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Roos, Lennart; Untch, Johannes: Traktorhydraulik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2012. – S. 1-10

Zitierfähige URL / Citable URL

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00043442>

Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/74.html>
